نگرشی جدید بر روش واکنش سیل واحد در اولویت‌بندی مکانی اقدامات کنترل سیل★

علی ندافی [۱]   سید محمود حسینی [۲]

چکیده *با توجه به خطر روزافزون سیل در تمام نقاط جهان از جمله ایران، تعیین مناطق سیل‌خیز و اولویت‌بندی این مناطق در جهت کنترل سیل امری ضروری است. در این تحقیق نگرشی جدید بر روش واکنش سیل واحد با عنوان روش کاهش سیل مطرح شد و از این نگرش به‌منظور اولویت‌بندی اقدامات کنترل سیل زیرحوضه‌های بالادست سد کارده در استان خراسان رضوی استفاده گردید. به این منظور، پس از تقسیم حوضه‌ی مورد مطالعه به ۲٤ زیرحوضه، خصوصیات فیزیکی حوضه و زیرحوضه‌ها از طریق نرم‌افزار جانبی HEC-GeoHMS در محیط ArcGIS تهیه شد. پس از واسنجی مدل HEC-HMS از طریق داده‌های یک واقعه‌ی بارش-رواناب، رواناب حاصل از بارش طراحی با دوره‌ی بازگشت ۵۰ سال با استفاده از این مدل شبیه‌سازی گردید. سپس اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها به‌روش واکنش سیل واحد و اولویت‌بندی اقدامات کنترل سیل به‌روش کاهش سیل انجام شد. نتایج نشان داد در حوضه‌ی مورد مطالعه سیل‌خیزترین زیرحوضه لزوماً مناسب‌ترین زیرحوضه برای اقدامات کنترل سیلاب نمی‌باشد و به‌طور کلی نتایج اولویت‌بندی اقدامات کنترل سیل زیرحوضه‌ها تفاوت زیادی با اولویت‌بندی سیل‌خیزی آنها دارد. در ادامه تأثیر تداوم بارش بر روی اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها بررسی شد. نتایج نشان داد تداوم بارش تأثیر قابل‌توجهی بر اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها دارد.*

واژه‌های کلیدی تداوم بارش، روش کاهش سیل، روش واکنش سیل واحد، کنترل سیل، مدل HEC-HMS.

A New Approach on Unit Flood Response Method for Spatial Prioritization of Flood Control Activities

A. Naddafy   S.M. Hosseini

Abstract *Due to increasing rate of flood risk throughout the world, including Iran, it is necessary to identify and prioritize flood-contributing areas for flood control activities. In this study, a new approach on Unit Flood Response method called "Flood Reduction method" was introduced which is applicable to prioritization of sub-basins for flood control activities. It was used to prioritize upstream sub-basins of Kardeh dam in Khorasan Razavi province. To conduct the study, the entire basin was divided into 24 sub-basins and physical characteristics of the basin and sub-basins were extracted using HEC-GeoHMS extension in ArcGIS. HEC-HMS model was calibrated using a rainfall-runoff event data and then, the 50-year design storm was simulated by this calibrated model. Prioritization of flood source areas was performed using the Unit Flood Response method and the Flood Reduction method was used to prioritize flood control activities. For the basin under study, the results showed that the sub-basin which has higher flood contribution is not necessarily the most appropriate sub-basins for flood control activities. In general, the prioritization results of the Flood Reduction method and those of the Unit Flood Response method were significantly different. The effect of rainfall duration on sub-basins prioritization was also studied. The results showed that rainfall duration has a significant effect on the sub-basins prioritization.*

Keywords Flood Control, Flood Reduction Method, HEC-HMS Model, Rainfall Duration, Unit Flood Response Method.

★ تاریخ دریافت مقاله ۹۲/۸/۲٤ و تاریخ پذیرش آن ۹۳/۱۰/۲۰ می‌باشد.

(۱) دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد.

(۲) نویسنده مسئول: استاد، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد.

مقدمه و سابقه‌ی تحقیق

سیل هرساله منجر به خسارات جانی و مالی فراوانی در سطح جهان می‌شود. با وجود تلاش‌های انجام شده برای مهار سیل، بشر نتوانسته به‌طور کامل از خسارات ناشی از آن در امان بماند. با افزایش جمعیت جهان نیاز بشر به زمین و منابع طبیعی افزایش پیدا کرده است. یکی از نتایج این مسأله تجاوز به مناطق مسکونی، صنعتی و راه‌های ارتباطاتی به مزارع، مراتع و جنگل‌ها و تخریب آنها می‌باشد. این امر باعث افزایش مناطق نفوذناپذیر و در نتیجه افزایش سرعت و حجم سیلاب می‌شود [1]. در نتیجه می‌توان گفت که با توجه به رشد روزافزون جمعیت و تخریب بی‌رویه‌ی منابع طبیعی، خطر بروز سیل رو به افزایش است و بنابراین اقدامات آبخیزداری و عملیات حفاظتی به‌منظور کنترل‌سیل در حوضه‌های سیل‌خیز امری ضروری است. در گذشته کنترل خسارات ناشی از سیل در یک نقطه، غالباً از طریق طراحی و ساخت سازه‌های کنترل سیل بر روی رودخانه در محل مورد نظر انجام می‌گرفت، در حالی که امروزه به‌جای تمرکز بر روی نواحی مورد تهدید سیل در پایین‌دست، تأکید بر شناسایی و کنترل سیل در سرمنشأ آن در نواحی بالادست حوضه می‌باشد [2]. با توجه به گسترده بودن سطح حوضه‌ها امکان اقدامات کنترل سیل در سرتاسر حوضه موجود نمی‌باشد. بنابراین باید از طریق مطالعات کنترل سیل، مناطقی که تأثیر بیشتری در ایجاد سیلاب دارند شناسایی و اولویت‌بندی شوند، تا بتوان با صرف کم‌ترین هزینه به بیشترین میزان مهار سیلاب دست پیدا کرد [3]. Juracek [4] در سال ۲۰۰۰ زیرحوضه‌های منطقه‌ی کانزاس (Kansas) را براساس قابلیت تولید رواناب آنها طبقه‌بندی نمود. وی به این منظور ترکیب‌های مختلفی از نفوذپذیری خاک، کاربری زمین و شاخص‌های رطوبتی را در نظر گرفت و براساس این معیارها، زیرحوضه‌ها را از قابلیت تولید رواناب خیلی زیاد تا خیلی کم طبقه‌بندی کرد. وی در مطالعه‌ی خود تأثیر روندیابی جریان زیرحوضه‌ها تا خروجی حوضه را در نظر نگرفت. Islam و Sado [5] براساس داده‌های سنجش از دور مربوط به سیل سال ۱۹۸۸ در بنگلادش، نقشه‌های خطر سیل را برای بنگلادش تهیه نمودند. آنها در تهیه‌ی این نقشه‌ها از اطلاعات مربوط به ارتفاع، پوشش گیاهی، عوارض زمین‌شناسی، فیزیوگرافی و شبکه‌ی زهکشی استفاده نمودند. مقدار هر سلول (Pixel) در نقشه‌های خطر سیل، در واقع میزان شدت خسارت مربوط به آن سلول را نشان می‌داد. از طریق این نقشه‌ها امکان شناسایی نقاط بحرانی که بیش از سایر نقاط در معرض خطر سیل قرار داشتند، فراهم بود ولی این نقشه‌ها اطلاعات لازم را در مورد این‌که کنترل سیل در کدام مناطق می‌تواند تأثیر بیشتری بر کاهش خسارت در نقاط بحرانی داشته باشد، در اختیار قرار نمی‌داد. Foody و همکاران [6] در سال ۲۰۰٤ از مدل HEC-HMS برای تعیین مناطق اصلی تولید سیلاب استفاده نمودند. آنها داده‌های مورد نیاز مدل، شامل پوشش گیاهی و خصوصیات خاک را به‌ترتیب از طریق تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی تهیه نمودند. نتایج اجرای مدل نشان داد نقاطی که بیشترین دبی اوج سیلاب را دارند، منطبق بر نقاطی هستند که بیشترین خسارت را از سیلاب‌های رخ داده متحمل شده بودند.

همان‌طور که اشاره شد به‌منظور کنترل سیل در یک نقطه، به‌جای اجرای اقدامات کنترل سیل در محل مورد نظر می‌باید بر کنترل سیل در سر منشأ آن تمرکز کرد و مناطقی که بیشترین تأثیر را در دبی اوج سیلاب آن محل دارند شناسایی نمود. به این منظور باید حوضه به‌گونه‌ای تعیین گردد که خروجی حوضه دقیقاً در محل مورد نظر برای حفاظت واقع شود [2]. سپس به‌منظور اولویت‌بندی سیل‌خیزی در سطح حوضه، می‌توان حوضه را به واحدهای مطالعاتی کوچک‌تری تقسیم نمود و با روندیابی جریان هریک از این واحدها تا خروجی حوضه، سهم هریک را در دبی اوج سیلاب در خروجی حوضه تعیین نمود. در این شرایط مناطقی که بیشترین مشارکت را در دبی اوج خروجی حوضه داشته باشند به‌عنوان مناطق سیل‌خیز و سرمنشأ سیل شناخته

می‌شـــو ند. یکی از معروف‌ترین روش ها در زمینه‌ی تعیین میزان مشـــارکت زیرحوضـــه‌ها در هیدروگراف خروجی حوضـــه، روش واکنش ســـیل واحد (Unit Flood Response) مـــی‌بـــاشـــــد. Saghafian و Khosroshahi [7] این روش را برای تعیین مشـــارکت زیرحوضـــه ها در دبی اوج خروجی و اولو یت‌بندی ســیل‌خیزی زیرحوضــه‌ها ارائه دادند. آنها در این روش ابتدا هیدروگراف ســیل طراحی را در خروجی حوضــه محاسبه نمودند. در ادامه در هر بار اجرای مدل، یکی از زیرحوضــه‌ها را از شــبیه‌ســازی جریان حذف کردند و دبی اوج خروجی حوضه را بدون حضور آن زیرحوضه محاسبه نمودند. تفاوت دبی خروجی در حالتی که تمام زیرحوضه‌ها در دبی خروجی مشارکت داشتند با حالتی که یک زیرحوضه از شبیه‌سازی حذف می‌گردید، سهم آن زیرحوضــه را در دبی اوج خروجی حوضــه نشــان می‌داد. Saghafian و Khosroshahi با ا ستفاده از روش واکنش ســـیل واحد و به‌کمک مدل HEC-HMS به مطالعه‌ی سیل‌خیزی در حوضه‌ی دماوند در شمال ایران پرداختند. نتایج نشان داد که زیرحوضه‌ای که مساحت بیشتری داشته باشد لزوماً دبی اوج خروجی بیشتری ندارد، هم‌چنین زیرحوضـــه‌ای که دبی اوج خروجی بیشتری داشته باشد لزوماً شاخص سیل‌خیزی بیشتری ندارد. نتایج همچنین نشـــان دادند که تداوم و دوره‌ی بازگشـــت بارش طراحی تأثیری بر روی اولویت‌بندی زیرحوضـــه ها ندارند. Roughani و همکاران [8]، به‌منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها برای اقدامات کنترل ســـیل روش جدیدی ارائه دادند. در این روش ابتدا ســطوح هم‌پیمایش جریان برای کل حوضــه مشــخص می‌شــوند. ســپس در هربار اجرای مدل هیدرولوژیکی، هیدروگراف زیرحوضـــه‌های یکی از این ســـطوح از روندیابی جریان حذف و از این طریق تأثیر آن سطح و زیرحوضـــه های آن، در هیدروگراف خروجی تعیین می‌گردد. مقایسه‌ی دبی‌های اوج نشان داد که با حرکت از خروجی به ســـمت قســـمت‌های میانی حوضـــه، اثر اقدامات کنترل سیل در زیرحوضه‌ها بر روی دبی اوج به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته اســـت. از طرف دیگر با حرکت از قسمت‌های میانی به بخش‌های بالایی حوضه تأثیر زیرحوضه‌ها روی دبی اوج کاهش می‌یابد. Saghafian و همکاران [2]، برای اولین بار در حوضه‌ی رود زرد در ایران با تقســـیم‌بندی حوضـــه به‌صـــورت شبکه‌ای از سلول‌ها، اولویت‌بندی سیل‌خیزی را برای تک‌تک این ســـلول‌ها انجام دادند. آنها با اســـتفاده از روش واکنش سیل واحد، شاخص سیل را برای هر یک از سلول‌ها محاسبه کردند. بدین طریق نقشه رستری شاخص شدت سیل برای حوضه تهیه گردید. این نقشه نشان که داد مناطق اصلی منشأ سیل، در نواحی میانی و بالادســـت حوضـــه قرار دارند. در ادامه با اجرای روش واکنش سیل واحد در سطح زیرحوضه‌ها، شاخص سیل برای زیرحوضه‌ها نیز محاسبه شد. مقایسه‌ی شاخص سیل زیرحوضه‌ها و میانگین وزنی شاخص سیل تمام سلول‌های موجود در هر زیرحوضه، نشان داد که این مقادیر به هم نزدیکند. بنابراین Saghafian و همکاران به این نتیجه رسـیدند که به‌منظور اقدامات کنترل سـیل نیاز نیســـت مطالعات به‌صـــورت توزیعی و در ســـطح ســـلول انجام شـــود، بلکه انجام مطالعات در ســـطح زیرحوضـــه ها نتایج لازم را در اختیار می گذارد. Sulaiman و همکاران [9] با اســـتفاده از روش واکنش سیل واحد، به بررسی مناطق مولد سیل در حوضه‌ی رودخانه‌ی پاهانگ (Pahang) در شـــبه‌جزیره‌ی مالزی پرداختند. نتایج آنها نشـــان داد که پاسـخ هیدرولوژیک زیرحوضه‌ها تابعی غیرخطی از بسیاری از عوامل است و زیرحوضه‌هایی که در کم‌ترین و بیشترین فاصله تا خروجی حوضه قرار دارند، ضرورتاً بیشترین و کمترین مشـــارکت را در دبی اوج خروجی ندارند. جوکار [۱۰] با اســـتفاده از مقایســـه‌ی مقادیر تغییرات در دبی اوج خروجی حوضـــه به‌ازای تغییرات شـــیب متوســـط زیرحوضـــه، شـــیب آبراهـه، شـــمـاره‌ی منحنی (CurveNumber, CN)، مساحت و زمان تأخیر هر یک

از زیرحوضه‌ها، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی را بررسی نمود. نتایج مطالعه‌ی جوکار نشان داد که عامل شماره‌ی منحنی(CN)، که عامل تأثیر جنس خاک و پوشش گیاهی را در خود مستتر دارد، مؤثرترین عامل بر روی دبی اوج خروجی حوضه می‌باشد.

با دقت در مطالعات انجام شده می‌توان دریافت که روش واکنش سیل واحد یکی از روش‌های مناسب برای اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها می‌باشد ولی در استفاده از این روش به‌منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها برای اقدامات کنترل سیل با چالش‌هایی روبه‌رو هستیم. در این روش برای تعیین نقش یک زیرحوضه در دبی خروجی حوضه، هیدروگراف آن زیرحوضه به‌طور کامل از روندیابی حذف می‌شود. این امر معادل این فرض است که با اجرای اقدامات کنترل سیل در یک زیرحوضه، دبی خروجی آن زیرحوضه به صفر می‌رسد. این درحالی است که در بسیاری از طرح‌های کنترل سیل با اجرای اقدامات کنترل سیل در یک زیر حوضه عملاً دبی خروجی آن به صفر نمی‌رسد، بلکه حجم و دبی اوج سیلاب کاهش می‌یابد [11]. بنابراین هرچند که در روش واکنش سیل واحد با استفاده از شاخص‌های ارائه شده به‌خوبی می‌توان زیرحوضه‌ها را از نظرسیل‌خیزی اولویت‌بندی نمود، ولی برای اولویت‌بندی اقدامات کنترل سیل نیاز به ارائه‌ی شاخص جدیدی می‌باشد. در نتیجه، در این تحقیق نگرشی جدید برای اولویت‌بندی اقدامات کنترل سیل مطرح می‌شود که در آن تأثیر اقدامات کنترل سیل در یک زیرحوضه به‌صورت کاهش دبی آن زیرحوضه نمایان شود. از دیگر چالش‌هایی که در روش واکنش سیل واحد با آن روبه‌رو هستیم می‌توان به عدم توجه به‌شرایط اولیه‌ی زیرحوضه‌ها اشاره نمود. به‌عنوان مثال دو زیرحوضه با مساحت برابر را در نظر بگیرید که زیرحوضه‌ی اول دارای شیب تند و پوشش گیاهی ضعیف می‌باشد و زیرحوضه‌ی دوم شیب ملایم‌تر و پوشش گیاهی بیشتری دارد. با این شرایط و با فرض یکسان بودن سایر شرایط این دو زیرحوضه، قاعدتاً زیرحوضه‌ی اول دبی و احتمالاً شاخص سیل‌خیزی بیشتری نسبت به زیرحوضه‌ی دوم دارد ولی باید در نظر داشت که کنترل کامل سیل (به‌صورتی که دبی خروجی زیرحوضه به صفر برسد) در زیرحوضه‌ی اول به‌مراتب نیازمند صرف عملیات و هزینه‌های بیشتری می‌باشد. در نتیجه زمانی می‌توان گفت که مقایسه زیرحوضه‌ها از لحاظ اقتصادی در شرایط یکسان انجام می‌شود، که میزان عملیات در تمام زیرحوضه‌ها یکسان باشد. بنابراین در نگرش جدید مطرح شده در این تحقیق، فرض می‌شود با اجرای اقدامات کنترل سیل در یک زیرحوضه دبی آن زیرحوضه کاهش می‌یابد که میزان این کاهش با توجه به شرایط و قابلیت تولید رواناب زیرحوضه‌ی مورد نظر می‌باشد. از دیگر اهداف این تحقیق بررسی تأثیر تداوم بارش بر روی اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی آبخیز سد کارده واقع در استان خراسان رضوی، در شمال شهرستان مشهد و در بین عرض‌های جغرافیایی ″۱۰ ′۴۰ °۳۶ تا ″۰۵ ′۵۶ °۳۶ شمالی و طول‌های جغرافیایی ″۴۸ ′۲۸ °۵۹ تا ″۴۰ ′۴۴ °۵۹ شرقی قرار دارد. منطقه‌ی مورد مطالعه در این تحقیق قسمتی از حوضه‌ی سد کارده واقع در بالادست ایستگاه هیدرومتری کارده‌ی بالا می‌باشد. مساحت این منطقه حدود ۴۴۸ کیلومتر مربع است و ایستگاه هیدرومتری کارده‌ی بالا در محل خروجی این منطقه واقع می‌باشد. جریان خروجی از ایستگاه هیدرومتری کارده‌ی بالا، در ادامه‌ی مسیر با جریان خروجی حوضه‌ی آبخیز کوشک‌آباد ترکیب شده است و به طرف سد کارده جاری می‌شود. در داخل منطقه‌ی مورد مطالعه چهار ایستگاه باران‌سنجی ثبات به نام‌های آل، بلغور، جنگ و مارشک موجود است (شکل ۱).

روش واکنش سیل واحد

Saghafian و Khosroshahi [7] در سال ۲۰۰۵، روش واکنش سیل واحد (Unit Flood Response) را برای تعیین مشارکت زیرحوضه‌ها در دبی اوج هیدروگراف خروجی حوضه و اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها ارائه دادند. در این روش شاخص‌های سیل‌خیزی FI و fi برای هر زیرحوضه از روابط ۱ و ۲ تعیین می‌گردد که از طریق آنها اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها انجام می‌شود.

$$FI_k = \left(\frac{Q_{o,all} - Q_{o,all-k}}{Q_{o,all}}\right) \times 100 \qquad (۱)$$

$$fi_k = \frac{Q_{o,all} - Q_{o,all-k}}{A_k} \qquad (۲)$$

در این روابط، FI_k شاخص سیل خیزی زیرحوضه‌ی k ام برحسب درصد، $Q_{o,all}$ دبی خروجی حوضه‌ی زمانی که تمام زیرحوضه‌ها مشارکت دارند برحسب مترمکعب بر ثانیه، $Q_{o,all-k}$ دبی خروجی حوضه زمانی که زیرحوضه‌ی k ام حذف شده است برحسب مترمکعب بر ثانیه، fi_k شاخص سیل‌خیزی در واحد سطح برای زیرحوضه‌ی k ام برحسب مترمکعب بر ثانیه بر کیلومتر مربع و A_k مساحت زیرحوضه‌ی k ام بر حسب کیلومتر مربع می‌باشند.

روش کاهش سیل

همان‌طور که در بخش های پیش اشاره گردید، در استفاده از روش واکنش سیل واحد به‌منظور اولویت‌بندی اقدامات کنترل سیل با چالش‌هایی مواجه می‌باشیم. بنابراین در این تحقیق با نگرشی جدید نسبت به روش واکنش سیل واحد، روشی جدید برای اولویت‌بندی مکانی اقدامات کنترل سیل به نام روش کاهش سیل ارائه شد. کلیات این روش براساس روش واکنش سیل واحد می‌باشد با این تفاوت که در روش کاهش سیل فرض می‌شود با اجرای اقدامات کنترل سیل در یک زیرحوضه، دبی اوج زیرحوضه کاهش می‌یابد. با توجه به این‌که عامل CN مؤثرترین عامل بر روی دبی اوج می‌باشد [۱۰]، در روش کاهش سیل، کاهش دبی اوج با کاهش CN معادل‌سازی می‌شود. به‌عبارت دیگر در رویکرد جدید، به‌جای حذف کامل یک زیرحوضه از شبیه‌سازی، CN آن زیرحوضه کاهش داده می‌شود.

در این روش ابتدا با استفاده از بارش طراحی، هیدروگراف خروجی حوضه به‌دست می‌آید. سپس CN یکی از زیرحوضه‌ها درصد معینی (مثلاً ۱۰ درصد) کاهش داده می‌شود. از آنجایی که تلفات اولیه (InitialAbstraction, I_a) و زمان تأخیر حوضه (T_{lag}) تابعی از شماره‌ی منحنی حوضه (CN) می‌باشند، مقادیر I_a و T_{lag} زیرحوضه‌ی موردنظر نیز براساس CN جدید و با توجه به روابط SCS تغییر داده می‌شوند. مدل با این شرایط اجرا می‌گردد و هیدروگراف خروجی حوضه به‌دست می‌آید. تفاوت دبی اوج خروجی حوضه در حالت اولیه و حالتی که CN زیرحوضه کاهش پیدا کرده است، نشان دهنده‌ی تأثیر اقدامات کنترل سیل در زیرحوضه‌ی موردنظر بر روی دبی اوج هیدروگراف خروجی حوضه است. این فرآیند برای تک‌تک زیرحوضه‌ها انجام می شود و شاخص کاهش سیل هر زیرحوضه از رابطه‌ی (۳) محاسبه می‌گردد.

$$(MFI_R)_k = \left(\frac{Q_{o,all} - Q_{o,Rk}}{Q_{o,all}}\right) \times 100 \qquad (۳)$$

در این رابطه، $(MFI_R)_k$ شاخص کاهش سیل زیرحوضه‌ی k ام برحسب درصد، $Q_{o,all}$ دبی خروجی حوضه زمانی که تمام زیرحوضه‌ها مشارکت دارند برحسب مترمکعب بر ثانیه و $Q_{o,Rk}$ دبی خروجی حوضه در شرایطی است که CN زیرحوضه‌ی k ام، R درصد کاهش یافته باشد برحسب متر مکعب بر ثانیه می باشند. با توجه به این که کنترل سیل در زیرحوضه های بزرگ‌تر، طبیعتاً عملیات و هزینه بیش‌تری در پی خواهد داشت، پس لازم است شاخص

دیگری برای اقدامات کنترل سیلاب تعریف شود که در آن عامل مساحت نیز در نظر گرفته شود. به این منظور شاخص کاهش سیل در واحد سطح هر زیرحوضه به‌صورت رابطه‌ی (٤) ارائه شد.

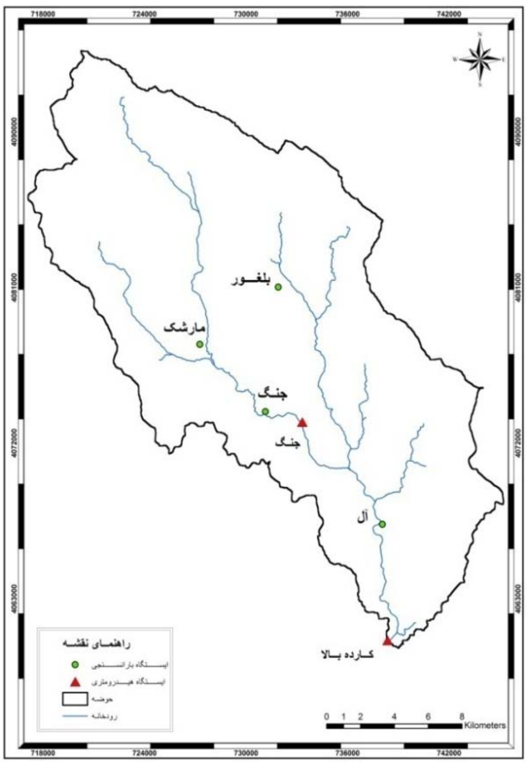
$$(\mathrm{Mfi_R})_k = \frac{Q_{o,all} - Q_{o,Rk}}{A_k} \qquad (٤)$$

در این رابطه، $(\mathrm{Mfi_R})_k$ شاخص کاهش سیل در واحد سطح زیرحوضه‌ی k ام برحسب مترمکعب بر ثانیه بر کیلومتر مربع و A_k مساحت زیرحوضه‌ی k ام بر حسب کیلومتر مربع می‌باشند. پارامترهای $Q_{o,all}$ و $Q_{o,Rk}$ نیز همان تعاریف ارائه شده در رابطه‌ی (۳) را دارند. با مقایسه‌ی شاخص Mfi زیرحوضه‌ها، می‌توان دریافت سطح یکسانی از اقدامات کنترل سیل در کدام زیرحوضه بیشترین تأثیر در دبی اوج خروجی حوضه را دارد و از این طریق مناسب‌ترین زیرحوضه را برای اقدامات کنترل سیل انتخاب نمود. لازم به ذکر است که اندیس R در شاخص های MFI و Mfi در واقع نشان‌دهنده‌ی درصد کاهش CN زیرحوضه می‌باشد.

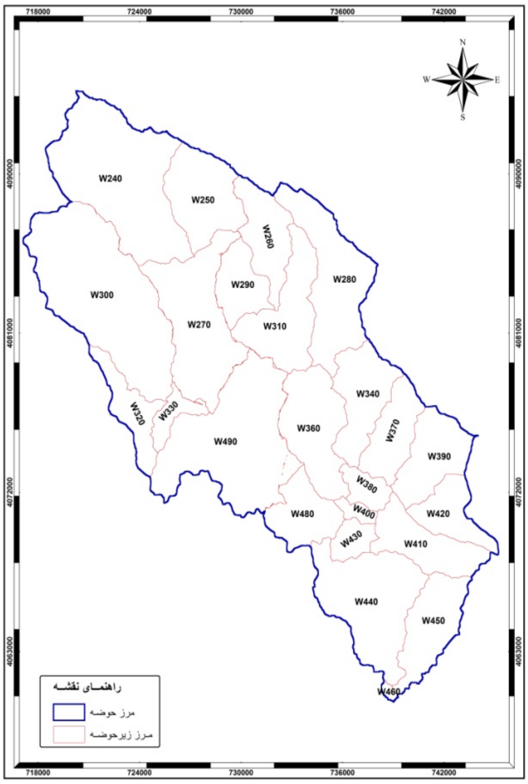
معرفی مدل HEC-HMS

از جمله مهم‌ترین روش های مطالعات کنترل سیل استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی است. مدل‌های هیدرولوژیکی ابزار مناسبی برای شبیه‌سازی تبدیل بارش به رواناب، محاسبه‌ی رواناب خروجی حوضه‌ها، روندیابی سیلاب در رودخانه‌ها و مخازن هستند [12]. در این تحقیق به‌منظور شبیه‌سازی بارش- رواناب از مدل HEC-HMS استفاده شده است. شبیه‌سازی حوضه‌های آبریز در HEC-HMS از طریق سه بخش اساسی به نام مدل حوضه، مدل هواشناسی و مشخصه‌های کنترل انجام می شود. پس از معرفی سه بخش فوق به HEC-HMS می‌توان مدل را اجرا نمود و نتایج را مشاهده کرد و در صورت لزوم، مقادیر معرفی شده به مدل را از طریق واسنجی تصحیح نمود [13].

به‌منظور تهیه‌ی مدل حوضه در ابتدا با استفاده از نقشه‌ی رقومی خطوط تراز ارتفاعی منطقه با اختلاف ارتفاع ۲۰ متر، لایه‌ی مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه با اندازه‌ی سلول ۱۰ متر در محیط ArcGIS تولید شد. مرز حوضه و زیرحوضه‌ها، مسیر آبراهه‌ها و هم‌چنین خصوصیات فیزیکی مربوط به آنها نیز در محیط نرم افزار جانبی HEC-GeoHMS تهیه شد و بدین ترتیب مدل حوضه تولید گردید و سپس به HEC-HMS منتقل گردید. محدوده زیرحوضه‌ها و مشخصات فیزیکی آنها به‌ترتیب در شکل (۲) و جدول (۱) قابل‌ملاحظه است. لازم به ذکر است برای محاسبه‌ی مقدار متوسط CN زیرحوضه‌ها نیاز به لایه‌ی CN حوضه بود. این لایه از طریق تلفیق لایه‌ی کاربری اراضی و لایه‌ی گروه هیدرولوژیک خاک به‌دست آمد.



شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری و باران‌سنجی بالادست ایستگاه هیدرومتری کارده بالا



شکل ۲ موقعیت زیرحوضه‌های بالادست ایستگاه هیدرومتری کارده‌ی بالا و نام‌گذاری آنها

واسنجی مدل HEC-HMS

به‌منظور واسنجی مدل، نیاز به بارش‌هایی می‌باشد که هیدروگراف‌های مربوط به آنها در ایستگاه هیدرومتری پایین‌دست ثبت شده باشند. با توجه به نقص اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری و باران‌سنجی موجود در منطقه، تنها یک واقعه‌ی مناسب در تاریخ ۸۱/٤/۲۸ الی ۸۱/٤/۲۹ برای واسنجی مدل یافت شد که اطلاعات مربوط به آن در جدول (۲) آورده شده است. اطلاعات بارش در هر ایستگاه مطابق آمار باران‌سنج‌های ثابت آن ایستگاه در تاریخ ۸۱/٤/۲۸ الی ۸۱/٤/۲۹ به مدل معرفی شد و با توجه به این اطلاعات، بارندگی ۸۱/٤/۲۸ الی ۸۱/٤/۲۹ شبیه‌سازی گردید. در این شبیه سازی محاسبه‌ی تلفات از روش شماره‌ی منحنی SCS، تبدیل بارش به رواناب به روش هیدروگراف واحد SCS، روندیابی جریان به روش ماسکینگام و توزیع مکانی بارش با توجه به موقعیت مکانی ایستگاه‌ها و اطلاعات موجود به روش وزن‌دهی برمبنای معکوس فاصله (روش IDW) انجام شد. همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، اختلاف در دبی اوج مشاهداتی و شبیه سازی شده در این مرحله (پیش از واسنجی مدل) بسیار کم است و هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده تطابق خوبی با یکدیگر دارند. با این وجود به‌منظور افزایش دقت مدل نسبت به واسنجی مدل اقدام شد.

بعد از شبیه‌سازی بارش ۸۱/٤/۲۸ با مقادیر اولیه، واسنجی مدل با بهینه‌سازی پارامترهای شماره‌ی منحنی (CN) و تلفات اولیه (I_a) و هم‌چنین ضرایب K و x روش ماسکینگام انجام شد. ضرایب K و x روش ماسکینگام، از طریق تابع انحراف معیار وزنی دبی اوج و از روش شیب یک‌متغیره واسنجی شدند. مقادیر اولیه و بهینه‌ی ضرایب K و x برای آبراهه‌های موجود در حوضه، در جدول (۳) آورده شده‌اند. با توجه به تعداد زیاد زیرحوضه‌ها و وجود تنها یک واقعه‌ی بارش رواناب برای واسنجی، امکان بهینه‌سازی I_a و CN برای تک‌تک زیرحوضه‌ها وجود نداشت. HEC-HMS قادر است با اعمال یک ضریب یکسان برای تمام زیرحوضه‌ها، مقدار CN و یا I_a زیرحوضه‌ها را یک‌باره بهینه نماید. این روش اعمال شد و ضریب مورد استفاده برای بهینه نمودن CN و I_a به‌ترتیب معادل ۰/۹۵ و ۰/۸ به‌دست آمد. با واسنجی مدل، میزان خطا در شبیه سازی دبی اوج از ۳/۸ درصد به ۲/۵ درصد و خطا در محاسبه‌ی حجم سیلاب از ۲۲ درصد به ١٤ درصد کاهش یافت. در شکل (۳) می‌توان هیدروگراف مشاهداتی، هیدروگراف شبیه‌سازی شده‌ی پیش از واسنجی مدل و هیدروگراف شبیه‌سازی شده‌ی پس از واسنجی مدل را با یکدیگر مقایسه نمود.

جدول ١ مشخصات فیزیکی زیرحوضه‌های بالادست ایستگاه هیدرومتری کارده‌ی بالا

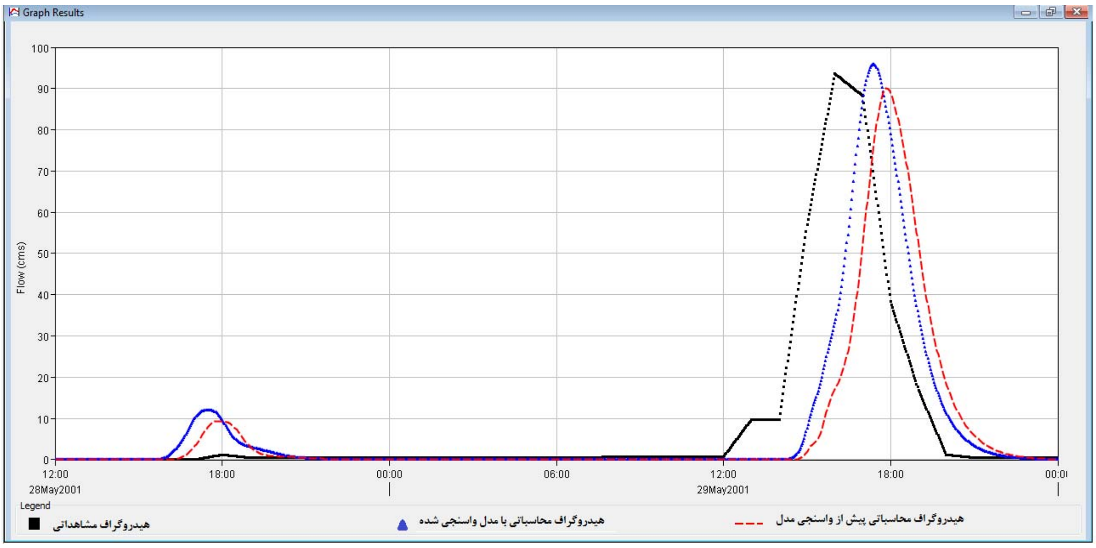
نام زیرحوضه	مساحت (km^2)	CN اولیه	متوسط شیب زیرحوضه(٪)	زمان تاخیر SCS(hr)	ارتفاع متوسط (m)
W250	١٩/٢#	٨٢/٩#	٥٠#	٠/٦١#	٢٣٨٩#
W260	١٣/٩#	٨٨/٧#	٥٤#	٠/٦٠#	٢٤١٥#
W270	٣١/٤#	٨٠/٨#	٤٧#	٠/٩٩#	٢١١٣#
W280	٢٧/٥#	٨٥/٦#	٥٢#	٠/٨٧#	٢٢٧٧#
W290	١٠/٤#	٨٥/٣#	٤٢#	٠/٥٦#	٢٢٤٤#
W300	٥٤/٠#	٧٣/١#	٤٦#	١/٥٥#	٢٣١٨#
W310	٢٠/٢#	٨٣/٨#	٤٦#	٠/٧٩#	٢١٢٠#
W320	١٠/٤#	٧٦/٠#	٢٩#	٠/٩٨#	٢٠٣٦#
W330	٧/٤#	٧٢/٨#	٣٥#	٠/٦٩#	١٨٩٣#
W340	١٦/٥#	٨٦/٤#	٥٦#	٠/٥٧#	٢٠٤٩#
W480	١٢/٧#	٨١/٧#	٥٣#	٠/٥٥#	١٧٦٢#
W360	٢١/٠#	٨٢/٠#	٤٧#	٠/٨٢#	١٨٧٣#
W370	١٢/٦#	٨٧/٠#	٥١#	٠/٥٠#	٢٠٢٩#
W380	٤/٩#	٨٢/٠#	٤٧#	٠/٣٨#	١٧٨١#
W390	١٥/٥#	٨٥/٢#	٥١#	٠/٥٧#	٢١٢٥#
W400	٢/١#	٨٠/٨#	٥٢#	٠/٢٥#	١٦٦٤#
W410	١٥/٢#	٨٨/٦#	٥٧#	٠/٥٧#	١٨٨٥#
W420	١٠/٧#	٨٣/٠#	٥٨#	٠/٤٥#	٢٠٩١#
W430	٤/٧#	٨٣/٣#	٥٥#	٠/٢٩#	١٦٧٠#
W440	٣١/١#	٨١/٨#	٤٨#	٠/٨٩#	١٦٦٥#
W450	١٦/١#	٨٥/٠#	٤٢#	٠/٨٥#	١٧٩١#
W460	٠/٧#	٧٦/٣#	٣٩#	٠/١٦#	١٣٨٧#
W490	٤٥/٢#	٧٥/٩#	٤٠#	١/١٧#	١٩٠٧#

جدول ٢ مشخصات واقعه بارش- رواناب ٨١/٤/٢٨ الی ٨١/٤/٢٩

بارندگی (میلی‌متر)				دبی حداکثر ایستگاه کارده بالا (مترمکعب بر ثانیه)
ایستگاه آل	ایستگاه بلغور	ایستگاه جنگ	ایستگاه مارشک	
١٦/٨#	١٦/٢#	٢٠#	٣٢/٥#	٩٣/٦#

جدول ۳ مقادیر اولیه و بهینه‌ی ضرایب K و x در روش ماسکینگام

آبراهه	K(hr)		x	
	مقدار اولیه	مقداربهینه	مقدار اولیه	مقدار بهینه
R100	۱/۱۸#	۱/۰۲#	۰/۳#	۰/۲۸#
R130	۰/۹۸#	۰/۹۰#	۰/۳#	۰/۳۹#
R140	۰/٤٦#	۰/۳۹#	۰/۳#	۰/۲۸#
R170	۰/٦٦#	۰/۵۷#	۰/۳#	۰/۲۸#
R180	۰/۳#	۰/۲٦#	۰/۳#	۰/۲۸#
R190	۰/۳۵#	۰/۳۰#	۰/۳#	۰/۲۸#
R200	۰/٦۹#	۰/۵۹#	۰/۳#	۰/۲۸#
R210	۱/۰۷#	۰/۸۷#	۰/۳#	۰/۲۸#
R230	۰/۱۹#	۰/۱۵#	۰/۳#	۰/۲۸#
R50	۰/۹۵#	۰/۸۸#	۰/۳#	۰/۳۹#
R510	۱/٤#	۱/۱۹#	۰/۳#	۰/۲۸#
R90	۰/۸۳#	۰/۸۳#	۰/۳#	۰/۲۸#



شکل ۳ مقایسه هیدروگراف خروجی شبیه‌سازی شده (پیش و پس از واسنجی مدل) و هیدروگراف مشاهداتی حوضه‌ی کارده مربوط به بارش ۸۱/٤/۲۸

بارش طراحی

به‌منظور این که نقش زیرحوضه‌هایی که دورترین فاصله‌ی هیدرولوژیکی تا خروجی حوضه را دارند هم به‌درستی در دبی اوج خروجی حوضه نمایان شود، تداوم بارش طراحی معادل زمان تمرکز حوضه در نظر گرفته شد. برای محاسبه‌ی زمان تمرکز ابتدا از روابط کرپیچ [14] و کالیفرنیا [15] استفاده گردید. زمان تمرکز محاسبه شده به هر دو روش، معادل ۵/۹ ساعت به‌دست آمد. Sharifi و Hosseini با مطالعه‌ی ۷۲ زیرحوضه در خراسان رضوی، ضریب اصلاحی برای روابط کرپیچ و کالیفرنیا را به‌ترتیب معادل ۱/۷۲۱ و ۱/۷۱۵ تعیین کردند [16]. با اعمال این ضرایب، زمان تمرکز حوضه معادل ۱۰ ساعت به‌دست آمد. با توجه به این‌که در بسیاری از طرح‌های کنترل سیل دوره‌ی

بازگشت‌های ۵۰ سال به‌کار رفته است [17]، در این تحقیق هم دوره‌ی بازگشت بارش طراحی معادل ۵۰ سال در نظر گرفته شد. برای محاسبه‌ی میزان بارندگی با دوره‌ی بازگشت ۵۰ سال و تداومی معادل زمان تمرکز حوضه، از روش ارائه‌شده توسط قهرمان و آبخضر [۱۸] استفاده گردید. آنها برای محاسبه‌ی میزان بارندگی t ساعته و با دوره بازگشت T سال در ایران رابطه‌ی کلی (۵) را ارائه دادند.

$$P_t^T = A_r t^B[\alpha_1 + \alpha_2 \ln(\alpha_3 - T)]P_{60}^{10} \qquad (۵)$$

که در آن، t مدت بارش برحسب دقیقه، T دوره‌ی بازگشت برحسب سال، P_t^T میزان بارش برحسب میلی‌متر (برای دوره‌ی بازگشت T سال و تداوم t دقیقه) و P_{60}^{10} میزان بارندگی ۶۰ دقیقه‌ای ۱۰ ساله برحسب میلی‌متر می‌باشند. هم‌چنین A_r، B، α_1، α_2و α_3 ضرایب ثابتی هستند که مقادیر آنها برای تداوم بارش بیشتر از دو ساعت در جدول (٤) آورده شده است. قهرمان و آبخضر مناسب‌ترین رابطه برای محاسبه‌ی P_{60}^{10} برای ایران را به‌صورت رابطه‌ی (٦) معرفی کردند:

$$P_{60}^{10} = e^{0.291}(P_{1440}^2)^{0.694} \qquad (٦)$$

که در آن P_{1440}^2 میانگین حداکثر بارش روزانه (حداکثر بارش ٢٤ ساعته) برحسب میلی‌متر می‌باشد. الگوی زمانی بارش طراحی، معادل الگوی بارش‌های ۹ تا ۱۱ ساعته ایستگاه آل در نظر گرفته شد. توزیع مکانی بارش طراحی نیز به روش وزن‌دهی بر مبنای معکوس فاصله (روش IDW) انجام گردید.

جدول ٤ مقادیر ضرایب A_r، B، α_1، α_2 و α_3
در رابطه‌ی (۵) برای تداوم بیشتر از ۲ ساعت

A_r	B	α_1	α_2	α_3
۰/۲۰۰۹#	۰/۳۹۳۷#	۰/۵۵٦۵#	۰/۱۹٤۸#	۰/۸#

نتایج اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها

اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها به‌روش واکنش سیل واحد و اولویت‌بندی اقدامات کنترل سیل زیرحوضه‌ها به‌روش کاهش سیل انجام شد. با توجه به این‌که مساحت زیرحوضه‌های W330، W380، W400، W430 و W450 کم می باشد (کمتر از ۱۰ کیلومتر مربع)، شاخص سیل برای این زیرحوضه‌ها محاسبه نگردید و آنها در اولویت‌بندی شرکت داده نشدند. ابتدا اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها به روش واکنش سیل واحد و براساس بارش طراحی ۱۰ ساعته ۵۰ ساله انجام شد. مطابق جدول (۵) زیرحوضه‌ی W410 براساس شاخص fi بیشترین پتانسیل سیل‌خیزی (بیشترین میزان مشارکت در دبی اوج سیلاب خروجی حوضه) را دارد. با توجه به این جدول اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها براساس دو شاخص fi و FI با یکدیگر بسیار متفاوت است. هم‌چنین هیچ ارتباطی بین اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها براساس مساحت، دبی خروجی و حجم سیلاب خروجی زیرحوضه‌ها با شاخص‌های fi و FI مشاهده نمی‌شود. این نتایج با یافته‌های Khosroshahi و Saghafian [7] و همچنین Sulaiman و همکاران [9] مطابقت دارد.

اولویت‌بندی اقدامات کنترل سیل زیرحوضه‌ها به روش کاهش سیل انجام شد. برای کاهش CN زیرحوضه‌ها، ابتدا مقدار ۱۰ درصد کاهش در نظر گرفته شد. روش کاهش سیل برای تک‌تک زیرحوضه‌ها اجرا گردید و شاخص‌های کاهش سیل MFI_{10} و Mfi_{10} مطابق روابط (۳) و (٤) برای زیرحوضه‌ها به‌دست آمد و اولویت‌بندی براساس این دو شاخص انجام شد. همان‌طور که در جدول (٦) ملاحظه می‌شود، اولویت‌بندی براساس شاخص‌های MFI_{10} و Mfi_{10} کاملاً با یکدیگر متفاوت است. با توجه به این‌که از نظر اقتصادی شاخص سیل در واحد سطح معیار مناسب‌تری برای اولویت‌بندی اجرای اقدامات کنترل سیل می‌باشد، بنابراین در یک دیدگاه اقتصادی استفاده از شاخص Mfi_{10} در اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها نسبت به شاخص MFI_{10} مناسب‌تر است.

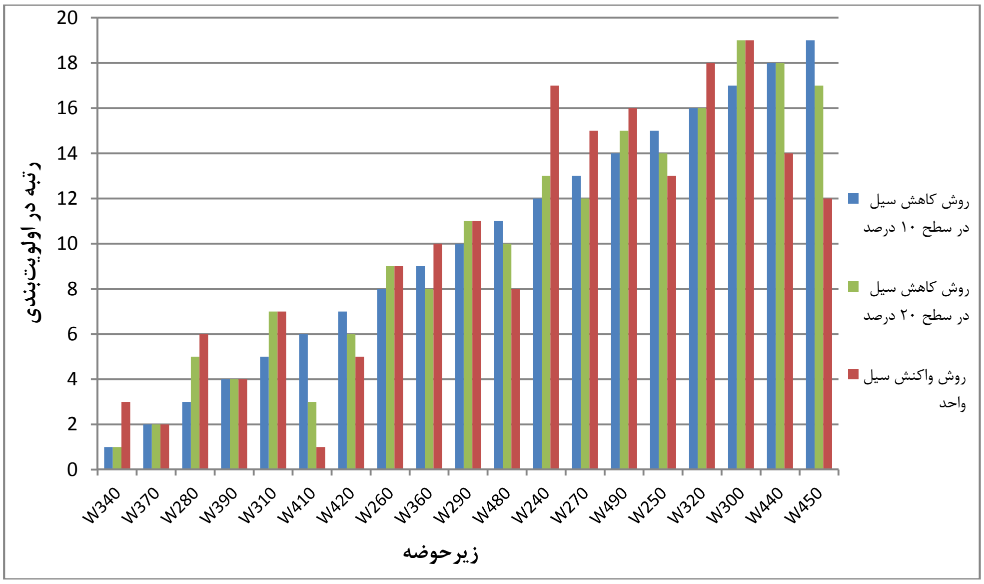
براساس شاخص Mfi_{10}، زیرحوضه‌ی W340 مناسب‌ترین زیرحوضه برای اقدامات کنترل سیل است، این در حالی است که براساس شاخص fi، زیرحوضه‌ی W340 در رتبه‌ی سوم سیل‌خیزی قرار دارد و

زیرحوضه‌ی W410 سیل‌خیزترین زیرحوضه می‌باشد. درنتیجه می‌توان گفت زیرحوضه‌ای که بیشترین پتانسیل سیل‌خیزی را دارد لزوماً مناسب‌ترین زیرحوضه برای اقدامات کنترل سیلاب نیست. مقایسه‌ی اولویت‌بندی سایر زیرحوضه‌ها (براساس شاخص‌های fi و Mfi_{10}) نیز نشان می‌دهد که اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها بر اساس روش واکنش سیل واحد و روش کاهش سیل (در سطح ۱۰ درصد) کاملاً متفاوت است.

در ادامه برای کاهش CN زیرحوضه‌ها مقدار ۲۰ درصد در نظر گرفته شد و اولویت‌بندی اقدامات کنترل سیل زیرحوضه‌ها در این حالت (براساس شاخص Mfi_{20}) نیز بررسی گردید. نتایج نشان داد هر چند بر اساس این شاخص هم زیرحوضه‌ی W340 در اولویت اول اقدامات کنترل سیل قرار دارد، ولی مطابق شکل (٤) در بسیاری از زیرحوضه‌ها اولویت‌بندی براساس شاخص‌های Mfi_{10} و Mfi_{20} با یکدیگر متفاوت است. بنابراین باید گفت که سطح کاهش CN در اولویت‌بندی اقدامات کنترل سیل مؤثر است. مقایسه‌ی نتایج اولویت‌بندی براساس شاخص‌های Mfi_{20} و fi نیز نشان داد اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها براساس روش واکنش سیل واحد با روش کاهش سیل متفاوت است. بنابراین نمی‌توان از نتایج اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها به‌منظور اولویت‌بندی اقدامات کنترل سیل استفاده نمود.

جدول ۵ اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها به‌روش واکنش سیل واحد

نام زیرحوضه	مساحت زیرحوضه (km^2)	میزان کاهش دبی اوج خروجی (m^3/s)	Fi ($m^3/s/km^2$)	FI (درصد)	رتبه براساس شاخص fi	رتبه بر اساس شاخص FI
W240	٤٧/١#	١٤/٣#	٠/٣٠٤#	٧/١#	١٧#	٢#
W250	١٩/٢#	٧/١#	٠/٣٦٩#	٣/٥#	١٣#	١٥#
W260	١٣/٩#	٨#	٠/٥٧٧#	٤/٠#	٩#	١٢#
W270	٣١/٤#	١٠/٨#	٠/٣٤٤#	٥/٣#	١٥#	١٠#
W280	٢٧/٥#	١٧#	٠/٦١٩#	٨/٤#	٦#	١#
W290	١٠/٤#	٥/٢#	٠/٤٩٨#	٢/٦#	١١#	١٨#
W300	٥٤/٠#	٥/٨#	٠/١٠٧#	٢/٩#	١٩#	١٧#
W310	٢٠/٢#	١١/٩#	٠/٥٩٠#	٥/٩#	٧#	٧#
W320	١٠/٤#	١/٨#	٠/١٧٣#	٠/٩#	١٨#	١٩#
W340	١٦/٥#	١٢/١#	٠/٧٣٤#	٦/٠#	٣#	٥#
W360	٢١/٠#	١٢#	٠/٥٧٢#	٥/٩#	١٠#	٦#
W370	١٢/٦#	٩/٣#	٠/٧٣٩#	٤/٦#	٢#	١١#
W390	١٥/٥#	١١/٣#	٠/٧٢٨#	٥/٦#	٤#	٨#
W410	١٥/٢#	١٢/٨#	٠/٨٤٤#	٦/٣#	١#	٤#
W420	١٠/٧#	٧/٤#	٠/٦٩١#	٣/٧#	٥#	١٣#
W440	٣١/١#	١١/٢#	٠/٣٦٠#	٥/٥#	١٤#	٩#
W450	١٦/١#	٦/٨#	٠/٤٢٣#	٣/٤#	١٢#	١٦#
W480	١٢/٧#	٧/٤#	٠/٥٨٥#	٣/٧#	٨#	١٤#
W490	٤٥/٢#	١٤/٢#	٠/٣١٤#	٧/٠#	١٦#	٣#



شکل ٤ مقایسه‌ی رتبه‌ی زیرحوضه‌ها در اولویت‌بندی براساس شاخص‌های fi، Mfi10 و Mfi20

جدول ٦ نتایج اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها براساس روش کاهش سیل (حالت کاهش ۱۰ درصدی CN)

نام زیرحوضه	دبی اوج خروجی حوضه در شرایط کاهش CN (m^3/s)	میزان کاهش دبی اوج خروجی حوضه (m^3/s)	MFI (٪)	Mfi $(m^3/s/km^2)$	رتبه براساس شاخص MFI	رتبه براساس شاخص Mfi
W240	۱۹٤/٥#	۷/۸#	۳/۸٦#	۰/۱٦٦#	۱#	۱۲#
W250	۱۹۹/٤#	۲/۹#	۳/۳٦#	۰/۲٤۸#	۱۳#	۱٥#
W260	۱۹۹/۲#	۳/۱#	۰/۷٤#	۰/۰٤۸#	۱۲#	۸#
W270	۱۹۷/۳#	٥#	۳/٥۱#	۰/۱٥۷#	٤#	۱۳#
W280	۱۹٥/٥#	٦/۸#	۲/٤۷#	۰/۱٥۹#	۳#	۳#
W290	۲۰۰/۲#	۲/۱#	۲/۳۷#	۰/۰۸۹#	۱٦#	۱۰#
W300	۱۹۷/٥#	٤/۸#	۲/۳۲#	۰/۲۳۳#	٥#	۱۷#
W310	۱۹۷/٦#	٤/۷#	۱/۷۳#	۰/۲۳۱#	٦#	٥#
W320	۲۰۱/۲#	۱/۱#	۱/٥۳#	۰/۲۲۳#	۱۸#	۱٦#
W340	۱۹۸/۱#	٤/۲#	۲/۰۸#	۰/۲٥٥#	۸#	۱#
W360	۱۹۷/۸#	٤/٥#	۲/۲۲#	۰/۲۱٤#	۷#	۹#
W370	۱۹۹/۱#	۳/۲#	۱/٤۳#	۰/۱٥۱#	۱۱#	۲#
W390	۱۹۸/٦#	۳/۷#	۰/۳۰#	۰/۰۳۷#	۹#	٤#
W410	۱۹۸/۸#	۳/٥#	۱/۸۳#	۰/۲۳۸#	۱۰#	٦#
W420	۱۹۹/۹#	۲/٤#	۱/٥۸#	۰/۲٥٤#	۱٤#	۷#
W440	۲۰۰/۸#	۱/٥#	۱/۰٤#	۰/۲۰۱#	۱۷#	۱۸#
W450	۲۰۱/۷#	۰/٦#	۱/۱۹#	۰/۱۹۰#	۱۹#	۱۹#
W480	۱۹۹/۹#	۲/٤#	۱/۱۹#	۱/۲۲٤#	۱٥#	۱۱#
W490	۱۹٥/۲#	۷/۱#	۰/٥٤#	۰/۱۰٦#	۲#	۱٥#

جدول ۷ مقایسه‌ی نتایج اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها به‌روش کاهش سیل
براساس شاخص Mfi_{10} در تداوم‌های مختلف بارش

رتبه در اولویت‌بندی	بارش طراحی ٦ ساعته	بارش طراحی ۱۰ ساعته	بارش طراحی ۱۸ ساعته
۱	W260	W340	W260
#۲	W280	W370	W280
#۳	W290	W280	W310
#٤	W310	W390	W290
#٥	W340	W310	W370
#٦	W370	W410	W340
#۷	W390	W420	W250
#۸	W360	W260	W240
#۹	W250	W360	W270
#۱۰	W420	W290	W390
#۱۱	W270	W480	W360
#۱۲	W480	W240	W420
#۱۳	W490	W270	W410
#۱٤	W410	W490	W490
#۱٥	W240	W250	W480
#۱٦	W320	W320	W450
#۱۷	W440	W300	W320
#۱۸	W300	W440	W440
#۱۹	W450	W450	W300

تأثیر تداوم بارش بر روی اولویت‌بندی

به‌منظور بررسی تأثیر تداوم بارش بر روی اولویت‌بندی زیرحو ضه‌ها، یک بارش با تداومی کمتر از زمان تمرکز حوضه و بارشی دیگر با تداوم بیشتر از زمان تمرکز حوضه انتخاب شد. با توجه به این‌که زمان تمرکز حو ضه معادل ۱۰ ساعت می‌با شد، بارش‌های ٦ و ۱۸ ساعته با دوره بازگشت ٥۰ سال انتخاب گردیدند. بارش‌های ٦ و ۱۸ ساعته شبیه سازی شدند و سپس اولویت‌بندی به‌روش کاهش سیل و برا ساس شاخص Mfi_{10} برای هر دو تداوم انجام شد. همان‌طور که در جدول (۷) ملاحظه می‌شود، تداوم بارش به‌طور قابل ملاحظه‌ای بر روی اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها مؤثر است که این مطلب با نتایج Saghafian و Khosroshahi [7] که بیان می‌کنند تداوم بارش تأثیری بر روی اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها ندارد، متناقض است. با توجه به این‌که Saghafian و Khosroshahi از روش واکنش سیل واحد در مطالعه‌ی خود ا ستفاده نموده‌اند، این امکان مطرح شد که ممکن ا ست تفاوت نتایج آنها و نتایج این تحقیق به‌علت تفاوت روش اولویت‌بندی با شد. بنابراین اولویت‌بندی زیرحو ضه‌ها در تداوم‌های ۱۰ و ٦ ساعته به‌روش واکنش سیل واحد نیز انجام شد.

این بار نیز نتایج نشان داد تداوم بارش طراحی بر روی اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها مؤثر است.

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق به‌منظور اولویت‌بندی مکانی اقدامات کنترل سیل، نگرشی جدید نسبت به روش واکنش سیل واحد مطرح، و بر پایه‌ی آن روشی تحت عنوان روش کاهش سیل ارائه شد. از روش کاهش سیل در اولویت‌بندی اقدامات کنترل سیل در زیرحوضه‌های بالادست سد کارده و از روش واکنش سیل واحد در اولویت‌بندی سیل‌خیزی این زیرحوضه‌ها استفاده گردید. مقایسه‌ی نتایج اولویت‌بندی سیل‌خیزی و اولویت‌بندی اقدامات کاهش سیل در این حوضه نشان داد که سیل‌خیزترین زیرحوضه (از منظر مشارکت در دبی اوج سیلاب خروجی حوضه) لزوماً مناسب‌ترین زیرحوضه برای اقدامات کنترل سیل نمی‌باشد و به‌طور کلی تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین نتایج اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها براساس روش کاهش سیل و روش واکنش سیل واحد وجود دارد. بنابراین با توجه به تفاوت مفاهیم به‌کار رفته در تعریف شاخص سیل در دو روش، چنانچه هدف از مطالعه تنها اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از لحاظ پتانسیل تولید سیلاب باشد، روش واکنش سیل واحد پیشنهاد می‌شود ولی در صورتی که هدف اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها برای اقدامات کنترل سیل باشد استفاده از روش کاهش سیل توصیه می‌گردد. از سوی دیگر نتایج نشان داد اولویت‌بندی در روش کاهش سیل، به میزان در نظر گرفته شده برای کاهش CN وابسته می‌باشد. بنابراین توصیه می‌شود که در مطالعات کنترل سیل ابتدا با توجه به اهداف پروژه و نوع اقدامات کنترل سیل مورد نظر، میزان کاهش CN در اثر اقدامات کنترل سیل تخمین زده شود و سپس اولویت‌بندی براساس آن میزان کاهش CN صورت گیرد. در این تحقیق تأثیر تداوم بارش نیز بر اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها بررسی گردید. مقایسه‌ی نتایج در تداوم‌های مختلف نشان داد اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها وابسته به تداوم بارش طراحی می‌باشد. بنابراین تعیین تداوم مناسب بارش طراحی برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها امری ضروری است. به این منظور در صورت وجود داده‌های کافی بارش-رواناب در منطقه‌ی مورد مطالعه، می‌توان تعیین نمود که اکثر سیلاب‌های مخرب مربوط به چه بارش‌هایی و با چه تداومی بوده‌اند. سپس، اولویت‌بندی را براساس بارش‌هایی با آن تداوم انجام داد. درصورتی که این داده‌ها موجود نباشد، توصیه می‌شود که از میانگین مقادیر شاخص سیل در تداوم‌های مختلف به‌منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها استفاده شود.

مراجع

1. Beighley, R. E., Melack, M. J. and Dunne, T., "Impacts of California's climate regimes and coastal land use change on streamflow characteristics", *Journal of American Water Resources Association,* Vol. 39, pp.1419–1433, (2003).
2. Saghafian, B., Ghermezcheshmeh, B. and Kheirkhah, M. M., "Iso-flood severity mapping: a new tool for distributed flood source identification", Nat Hazards, Vol. 55, pp. 557-570, (2010).
3. Lastra, J., Fernandez, E., Diez-Herrero, A. and Marquinez, J., "Flood hazard delineation combining geomorphological and hydrological methods: an example in the Northern Iberian Peninsula", Nat Hazards, Vol. 45, pp. 277-293, (2008).

4. Juracek, K. E., "Estimation and comparison of potential runoff-contributing area in Kansas using topographic, soil and land-use information", Water Resources Investigation, Report NO. 00-4177, Kansas, (2000).
5. Islam, M. M. and Sado, K., "Development of flood hazard maps of Bangladesh using NOAA-AVHRR images with GIS", *Hydraulic Science Journal,* Vol. 45, pp. 337-355, (2000).
6. Foody, G. M., Ghoneim, E. M. and Arnell, N. W., "Predicting locations sensitive to flash flooding in an arid environment", *Journal of Hydrology,* ASCE, Vol. 292, pp. 48-58, (2004).
7. Saghafian, B. and Khosroshahi, M., "Unit Response Approach for priority determination of flood source areas", *Journal of Hydrologic Engineering,* ASCE, Vol. 10, pp. 270-277, (2005).
8. Roughani, M., Ghafouri, M. and Tabatabaei, M. R., "An innovative methodology for the prioritization of sub-catchments for flood control", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation,* Vol. 9, pp. 79-87, (2007).
9. Sulaiman, W .N. A., Heshmatpoor, A. and Rosli, M. H., "Identification of flood source areas in Pahang river basin, Peninsular Malaysia", Environment Asia, Vol. 3, pp. 73-78, (2010).

۱۰. جوکار، ج.، "بررسی سیل‌خیزی در زیرحوضه‌های رودخانه‌ی شاپور با استفاده از شبیه‌سازی جریان‌های سیلابی" ، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۸۱).

11. Al-Weshah, R. and El-Khoury, F., "Flood analysis and mitigation for Petra area in Jordan", *Journal of Water Resources Planning and Management,* ASCE, Vol. 125, pp. 170-177, (1999).
12. Olivera, F. and Maidment, D., "Geographic information systems GIS-based spatially distributed model for runoff routing", Water Resources Research, Vol. 35, pp. 1155–1164, (1999).
13. Scharffenberg, W. A. and Fleming, M. J.,"Hydrologic modeling system HEC-HMS user's manual 3.5 ed", US Army Crops of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Washington, D.C., (2010).
14. Kirpich, Z. P., "Time of concentration of small agricultural watersheds", Civil Engineering, Vol. 10, pp. 362-368, (1940).
15. Rowe, R. R. and Thomas R. L., "Comparative Hydrology Pertinent to California Culvert Practice", California Highways and Public Works, Vol 20, pp. 6-11, (1942).
16. Sharifi, S. and Hosseini, S. M., "Methodology for identifying the best equations for estimating the time of concentration of watersheds in a particular region", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering,* ASCE, Vol. 137, pp. 712-719, (2011).
17. Anquetin, S., Braud, I., Vannier, O., Viallet, P., Boudevillain, B., Creutin, J. D. and Manus, C., "Sensitivity of the hydrological response to the variability of rainfall fields and soils for the Gard 2002 flash-flood event", Advances in Water Resources, Vol. 28, pp. 567–581, (2005).

۱۸. قهرمان، ب. و آبخ ضر، ح.ر.، " ا صلاح روابط شدت–مدت–فراوانی در ایران "، مجله‌ی علوم و فنون ک شاورزی و منابع طبیعی، سال هشتم، شماره‌ی دوم، صفحات ٢٦–١٢، (١٣٨٣).